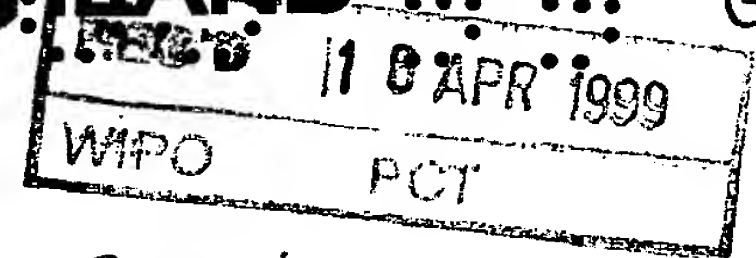


09/623588

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



EP99/1361

## Bescheinigung

Das Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH in Mainz/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Mikroreaktor und Verfahren zur Durchführung chemischer Umsetzungen"

am 4. März 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol B 01 J 19/00 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 16. März 1999

**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

Aktenzeichen: 198 09 139.7

Wallner

M 25.03.99

EM 75-98

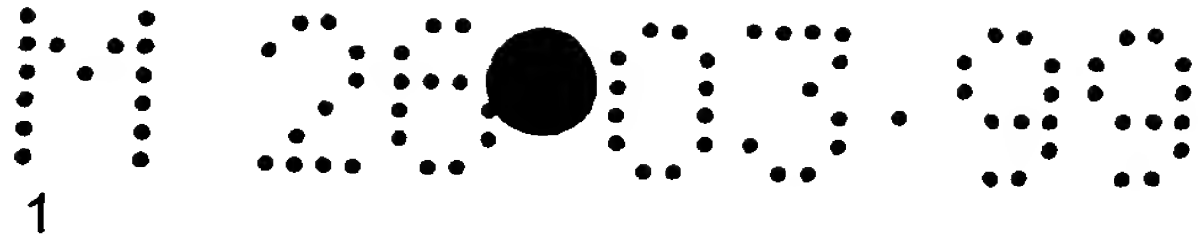
04.03.98

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH  
Carl-Zeiss-Str. 18 - 20  
55129 Mainz

---

Mikroreaktor und Verfahren zur Durchführung chemischer Umsetzungen

---



## Beschreibung

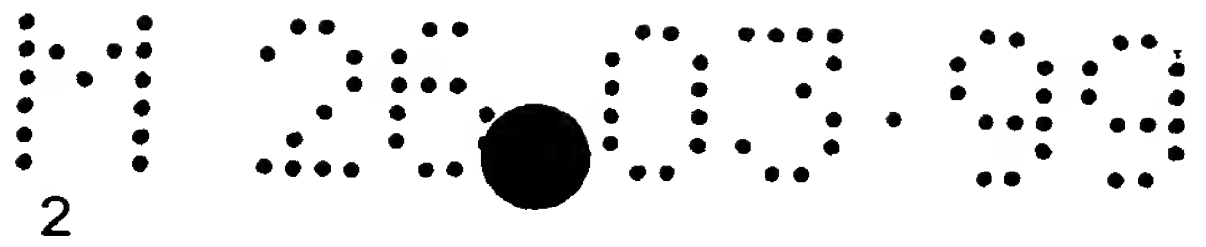
Die Erfindung betrifft einen Mikroreaktor zur Durchführung chemischer Umsetzungen mit mindestens einer Zuführung für Edukte und mindestens einer Abführung für Produkte sowie mindestens einem mit der Zu- und der Abführung verbundenen Reaktionsbereich. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Durchführung chemischer Reaktionen mindestens eines Eduktes, gegebenenfalls in verdünnter Form, mit mindestens einem Eduktstrom und einem Produktstrom sowie einem Reaktionsbereich.

Aus der DE 39 26 466 A1 ist ein Mikroreaktor zur Durchführung chemischer Reaktionen mit starker Wärmetönung bekannt, in dem Stoff-, Reaktions- und Wärmeführung in übereinandergeschichteten, plattenartigen Elementen stattfindet, die durch ein System aus durch Zerspanung hergestellten Rillen durchzogen und verbunden sind. Der Mikroreaktor selbst kann aus einem Katalysatormaterial gefertigt sein.

In der WO 95/30476 wird ein Verfahren zur Durchführung chemischer Reaktionen vorgestellt. Dadurch, daß die Edukte in Fluidfäden aufgeteilt werden, gelangen die Edukte eng benachbart als Freistrahlen in einen Raum, der als Misch- und Reaktionsraum dient, wo sie durch Diffusion und Turbulenz vermischen und zur Reaktion kommen. Der Vorteil hierbei ist, daß durch die Aufteilung in Fluidfäden die Edukte schnell homogen vermischt werden, wodurch eine folge- und nebenproduktfreie Reaktion stattfindet. Eine Durchführung heterogen katalysierter Gasphasenreaktionen ist nach diesem Verfahren nicht möglich.

Entscheidender Nachteil sowohl des oben beschriebenen Mikroreaktors als auch des oben aufgeführten Verfahrens ist, daß bei der Durchführung einer chemischen Umsetzung mit positiver oder negativer Wärmetönung hohe Wärmeverluste auftreten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Mikroreaktor bereitzustellen, der eine Durchführung chemischer Umsetzungen bei geringen Wärmeverlusten erlaubt. Weiterhin hat die Erfindung zur Aufgabe, ein entsprechendes Verfahren zur Durchführung chemischer Reaktionen aufzuzeigen, das sich durch geringe Wärmeverluste auszeichnet.



Die Aufgabe wird mit den Merkmalen des Hauptanspruchs und des Anspruchs 48 gelöst, wobei die abhängigen Ansprüche vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung beschreiben.

Der Mikroreaktor zeichnet sich dadurch aus, daß die Zuführung, die Abführung und der Reaktionsbereich so angeordnet sind, daß eine chemische Umsetzung mit möglichst geringen Wärmeverlusten durchgeführt werden kann. Die spezielle Anordnung der Abführung zu der Zuführung erlaubt die Führung der Edukte und der Produkte im Gegenstrom, so daß ein Wärmeaustausch zwischen dem Produktstrom und dem Eduktstrom ermöglicht wird. Ein weiteres wesentliches Merkmal ist die Anordnung des Reaktionsbereiches im Zentrum des Mikroreaktors, so daß die Zu- und die Abführung den Reaktionsbereich umgeben. Hierdurch findet eine Wärmeübertragung vom Reaktionsbereich auf den Edukt- und den Produktstrom statt. Wärmeverluste durch Wärmeleitung oder Wärmestrahlung, insbesondere über das Gehäuse des Mikroreaktors, werden minimiert. Liegen mehrere Reaktionsbereiche vor, so sind diese benachbart,

und von den Zu- und Abführungen umgeben. Diese benachbarte Anordnung der Reaktionsbereiche erlaubt bei der Verwendung von Katalysatoren eine Homogenisierung der Katalysatortemperatur. Hierdurch können die Umsetzungen in dem Mikroreaktor unter einheitlichen Bedingungen durchgeführt werden. Darüberhinaus gestattet die Anordnung von Zuführung, Abführung und Reaktionsbereich eine kompakte Bauweise bei einem einfachen Aufbau, so daß eine kostengünstige Realisierung in großen Stückzahlen ermöglicht wird.

Der vorliegende Mikroreaktor und das erfindungsgemäße Verfahren eignen sich zur Durchführung chemischer Umsetzungen sowohl in der Gasphase als auch in der Flüssigphase. Insbesondere Reaktionen, die bei im Vergleich zur Umgebungstemperatur erhöhten Temperaturen eine höhere Ausbeute und/ oder Selektivität liefern, lassen sich hiernach vorteilhaft durchführen. Die von außen zugeführte Wärme und/ oder die im Reaktionsbereich freiwerdende Reaktionswärme kann zu einem großen Teil auf die zuströmenden Edukte übertragen und damit in den Reaktionsbereich zurückgeführt werden.

Besonders vorteilhaft eignet sich der Mikroreaktor und das Verfahren zur Durchführung heterogen katalysierter Gasphasenreaktionen.

Um eine gute Wärmeübertragung zu gewährleisten, liegen die kleinsten Dimensionen der Wandabstände der Zuführung und/ oder der Abführung unter 1 cm. Vorteilhaft liegen diese Dimensionen bei kleiner 1 mm. Mit mikrotechnischen Herstellungsverfahren lassen sich auch kleinste Wandabstände im 100  $\mu\text{m}$  Bereich realisieren, wodurch auch bei kleinen Weglängen und/ oder hohen Strömungsgeschwindigkeiten eine sehr gute Wärmeübertragung zwischen dem Produkt- und Eduktstrom erreichen läßt.

Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Mikroreaktors werden anhand der folgenden schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a einen Mikroreaktor mit spiralartiger Anordnung der Zu- und der Abführung im Querschnitt von oben,

Fig. 1b den Mikroreaktor nach Fig. 1a im Querschnitt von der Seite,

Fig. 2 einen Mikroreaktor mit spiralartiger Anordnung zweier Zuführungen und einer Abführung im Querschnitt von oben,

Fig. 3a einen Mikroreaktor mit radial verlaufenden Zuführungen und miteinander in Verbindung stehenden Reaktionsbereichen im Querschnitt von oben,

Fig. 3b den Mikroreaktor nach Fig. 3a im Querschnitt von der Seite,

Fig. 4a einen Mikroreaktor mit einzelnen radial angeordneten Mikroreaktoreinheiten im Querschnitt von oben,

Fig. 4b einen Mikroreaktor mit einzelnen radial angeordneten Mikroreaktoreinheiten, jeweils bestehend aus einem äußeren und einem inneren Rohr, im Querschnitt von der Seite,

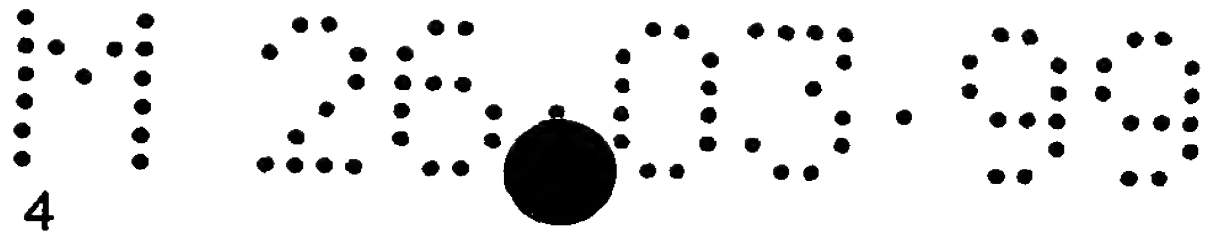


Fig. 5a einen Mikroreaktor mit einzelnen radial angeordneten Mikroreaktoreinheiten, jeweils bestehend aus U-förmig gebogenen plattenförmigen Elementen, im Querschnitt von oben,

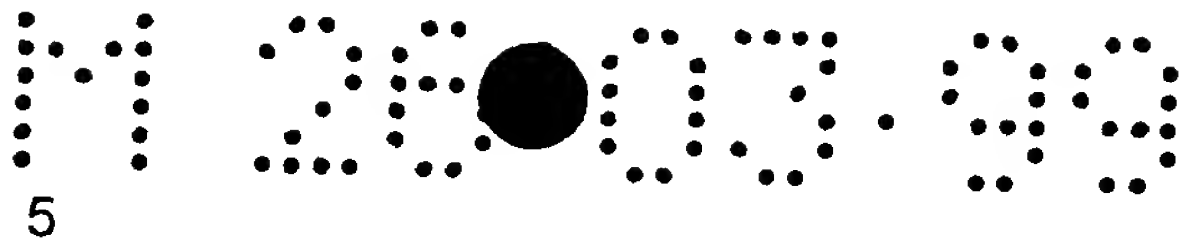
Fig. 5b den Mikroreaktor nach Figur 5a im Querschnitt von der Seite,

Fig. 5c den Mikroreaktor nach Fig. 5a und 5b in perspektivischer Darstellung, geschnitten von oben sowie teilweise von der Seite.

In Figur 1 ist ein Mikroreaktor 1 mit spiralartiger Anordnung der Zuführung 2 und der Abführung 3 im Querschnitt von oben schematisch dargestellt. Die Zuführung 2 und die Abführung 3 sind in der Art einer Doppelspirale benachbart geführt und beide mit dem im gemeinsamen Mittelpunkt liegenden Reaktionsbereich 4 verbunden. Die Pfeile deuten die Strömungsrichtung innerhalb des Mikroreaktors 1 an. Bis auf die äußere Windung ist die Zuführung 2 in der gezeigten Ebene von der Abführung 3 umgeben. Durch die benachbarte Anordnung und Fluidführung im Gegenstrom wird ein effektiver Wärmeaustausch zwischen dem Produktstrom und dem Eduktstrom ermöglicht. Im Reaktionsbereich 4 kann sich ein Katalysatormaterial befinden. In diesem Beispiel ist der Katalysator 5 angedeutet.

Die Figur 1b zeigt den Mikroreaktor nach Figur 1a im Querschnitt von der Seite. Deutlich sichtbar ist die benachbarte Anordnung der Zuführung 2 mit der Abführung 3, die beide mit dem Reaktionsbereich 4, hier mit einem Katalysator 5, verbunden sind. Zur Verminderung von Wärmeverlusten zu den die Zu- und die Abführung an den beiden Stirnflächen abschließenden Elementen 6, 7 weisen die Zuführung und die Abführung in diesem Beispiel ein großes Verhältnis zwischen Breite und Höhe auf. Es ist auch denkbar, mehrere solcher Mikroreaktoren aufeinander zu stapeln, wodurch keine Wärmeverluste an den benachbarten abschließenden Elementen auftreten.

Der Mikroreaktor nach Figur 2 weist zwei Zuführungen 10 und 11 sowie eine Abführung 12 auf, die mit dem gemeinsamen Reaktionsbereich 13 verbunden sind. Es ist auch denkbar, drei oder mehr Zuführungen vorzusehen. Es können auch zwei oder mehr Reaktions- und/ oder Mischbereiche angeordnet werden.



Solche in den Figuren 1a, 1b und 2 dargestellte Mikroreaktoren können aus spiralförmig gewundenen plattenförmigen Elementen aufgebaut sein, die an den Stirnflächen verschlossen sind, und Anschlüsse für die Zu- und die Abführung aufweisen. Denkbar ist auch, die Wandungen der Zu- und der Abführung sowie ein abschließendes Element einstückig aus einem Substrat, beispielsweise durch Mikrostrukturierung eines Polymers und anschließender galvanischer Abformung oder durch Prägen einer Aluminiumplatte, herzustellen.

Figur 3a zeigt einen Mikroreaktor 20 mit mehreren Zuführungen 22 und Abführungen 23, die mit Reaktionsbereichen 21 verbunden sind. Der äußere Mantel des Mikroreaktors bildet ein Hohlzylinder 29b, der eine Hauptzuführung 27b für den Eduktstrom aufweist. Zwischen dem äußeren Hohlzylinder 29b und dem inneren Hohlzylinder 29a befindet sich der Zuführungsverteiler 27a, der über die Schlitze 29c mit den einzelnen Zuführungen 22 verbunden ist. Die Zuführungen 22 werden durch parallel zueinander angeordnete plattenartige Elemente 24 begrenzt, die am Rand der Schlitze 29c dicht mit dem inneren Hohlzylinder 29a abschließen. Die Zuführungen 22 sind über einen im Mittelpunkt der Anordnung gelegenen freien Bereich mit den einzelnen Reaktionsbereichen 21 verbunden. Die Reaktionsbereiche 21 weisen in diesem Beispiel einen auf einem Träger 26 aufgebrachtes Katalysatormaterial 25 auf. Dieser Mikroreaktor eignet sich jedoch auch für nicht heterogen katalysierte Reaktionen. Zwischen den die Zuführungen 22 begrenzenden plattenartigen Elemente 24 befinden sich die Abführungen 23 mit einem sich radial nach außen konisch aufweitendem Querschnitt. Die Reaktionsbereiche 21 befinden sich hier im Endbereich der Öffnungen der Abführungen 23. Durch die Vielzahl der benachbarten Zuführungen 22 und Abführungen 23 wird ein guter Wärmeaustausch, der im Gegenstrom zueinander geführten Produkt- und Eduktströme, ermöglicht.

In dem in Figur 3b gezeigten Querschnitt des Mikroreaktors nach Figur 3a ist wie in Figur 3a der Verlauf des Edukt- und des Produktstromes anhand von Pfeilen angedeutet. Zu erkennen ist ein Reaktionsbereich 21, der über die Zuführung 22, den Zuführungsverteiler 27a mit der Hauptzuführung 27b sowie über die Abführung 23 mit Hauptabführung 28 verbunden ist. Die Hauptabführung 28 ist an beiden Stirnseiten der coaxial zueinander angeordneten Hohlzylinder 29a, 29b angeordnet.



In der Figur 4a ist ein Mikroreaktor 40 mit einzelnen Mikroreaktoreinheiten 41 im Querschnitt von oben dargestellt. Jede Mikroreaktoreinheit 41 umfaßt eine Zuführung 43, die in der gezeigten Ebene von der Abführung 45 umgeben ist und über den Reaktionsbereich 46 mit dieser verbunden ist. Die einzelnen Mikroreaktoreinheiten 41 sind derart radial angeordnet, daß die nicht miteinander verbundenen Reaktionsbereiche 46 benachbart liegen. In diesem Beispiel ist der Bereich 46' zwischen den Mikroreaktoreinheiten 31 leer, wodurch die Wärmeabgabe überwiegend durch Wärmestrahlung erfolgt. Durch die benachbarte Anordnung der Reaktionsbereiche 46 ist eine Wärmeübertragung an die Umgebung minimiert. Es ist auch denkbar, den freien Bereich 46' zum Durchleiten eines Wärmeüberträgers, beispielsweise in der Startphase einer Reaktion, zur Temperaturregelung oder um überschüssige Wärme abzuführen, zu nutzen. Die Zuführungen 43 der Mikroreaktoreinheiten 41 sind mit einem Zuführungsverteiler 47 verbunden. Die Abführungen 45 enden in einem gemeinsamen Abführungssammler 49a, der an den Zuführungsverteiler 47 grenzt.

In Figur 4b ist der Mikroreaktor 40 nach Figur 4a im Querschnitt von der Seite gezeigt. Die Mikroreaktoreinheiten 41 umfassen jeweils ein äußeres Rohr 42 und ein coaxial angeordnetes inneres Rohr 44, wobei beide Rohre einen runden Querschnitt aufweisen. Das äußere Rohr 42 ist an einem Ende halbkugelförmig verschlossen. Das innere Rohr 44 bildet die Zuführung 43, die von der Abführung 45 umgeben ist. Im Übergangsbereich zwischen der Zuführung 43 und der Abführung 45 befindet sich der Reaktionsbereich 46. Die Mikroreaktoreinheiten 41 sind im Innern des innersten Hohlzylinders 80a radial angeordnet. Zwischen dem innersten Hohlzylinder 80a und dem mittleren Hohlzylinder 80b befindet sich der Abführungssammler 49a, der die einzelnen Abführungen 45 mit der Hauptabführung 49b verbindet, die an beiden Stirnflächen der Hohlzylinder 80a,b,c angeordnet ist. Zwischen dem äußersten Hohlzylinder 80c und dem mittleren Hohlzylinder 80b befindet sich der Zuführungsverteiler 47, der die Hauptzuführung 48 mit den einzelnen Zuführungen 43 verbindet. Die äußeren Rohre 42 der Mikroreaktoreinheiten 41 stellen Ausstülpungen des innersten Hohlzylinders 80a dar. Das innere Rohr 44 steht nicht in Kontakt mit dem äußeren Rohr 42, so daß auf Grund der freien Beweglichkeit große Temperaturdifferenzen nicht zu inneren Spannungen führen. Die Mikroreaktoreinheiten 41 sind so zueinander radial angeordnet,



daß die Reaktionsbereiche 46 benachbart sind. Auf Grund stark verringerter Wärmestrahlungsverluste an die Umgebung ist eine effektive Konzentrierung der Reaktionswärme im Innern des Mikroreaktors 40 ist möglich. Ein großer Teil der im Produktstrom enthaltenen Reaktionswärme kann im Bereich der Zuführungen 43 und des Zuführungsverteilers 47 an den Eduktstrom abgegeben werden.

Figuren 5a, 5b und 5c zeigen einen Mikroreaktor 50 bei dem die einzelnen Mikroreaktoreinheiten 50' äußere und innere Rohre 51, 52 mit rechteckigem Querschnitt aufweisen, wobei die längeren Seiten mehr als doppelt so lang wie die beiden kürzeren Seiten eines jeden Querschnitts sind. Wie bei dem in Figuren 4a und 4b dargestellten Mikroreaktor sind hier die einzelnen Mikroreaktoreinheiten 50' derart radial zueinander angeordnet, daß die Reaktionsbereiche 60 benachbart sind. Wie in Figur 5c perspektivisch und im Querschnitt von oben verdeutlicht, sind die Seitenwände des äußeren Rohres 51 durch ein U-förmig gebogenes plattenförmiges Element 53 gebildet, das eine faltenförmige Ausstülpung des inneren Hohlzylinders 90a darstellt. Das innere Rohr 52 wird durch zwei plattenförmige Elemente 54 und 55 gebildet, die am Ende offene Ausstülpungen des mittleren Hohlzylinders 90b darstellen. Das äußere Rohr 51 und das innere Rohr 52 sind an ihren Stirnflächen durch gemeinsame Wände begrenzt, von denen hier nur der gemeinsame Boden 63 dargestellt ist. Zwischen dem inneren Hohlzylinder 90a und dem mittleren Hohlzylinder 90b befindet sich der die einzelnen Abführungen 58 mit der Hauptabführung 62 verbindende Abführungssammler 59. Die Bodenplatte 63 weist im Bereich des Abführungssammlers 59 Öffnungen 64 auf, die den Abführungssammler 59 mit der Hauptabführung 62 verbinden. Die einzelnen Zuführungen 56 sind über einem zwischen dem mittleren Hohlzylinder 90b und dem äußeren Hohlzylinder 90c liegenden Zuführungsverteiler 57 mit der Hauptabführung 61 verbunden. Dieser Mikroreaktor kann vorteilhaft aus dünnen Materialien, wie Blechen, gefertigt werden.

## Patentansprüche

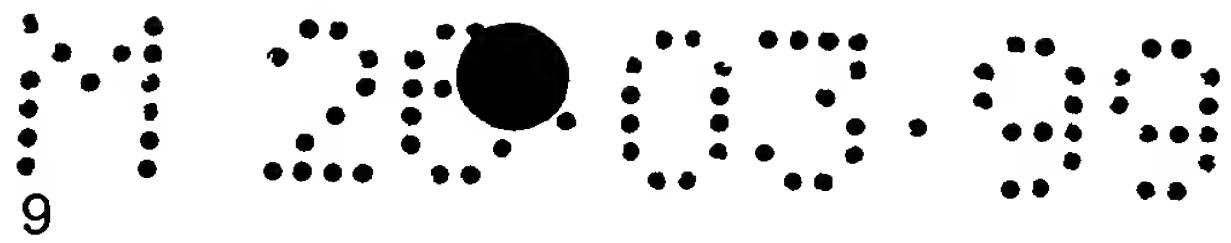
1. Mikroreaktor zur Durchführung chemischer Umsetzungen mit mindestens einer Zuführung für Edukte und mindestens einer Abführung für Produkte sowie mindestens einem mit der Zu- und der Abführung verbundenen Reaktionsbereich,

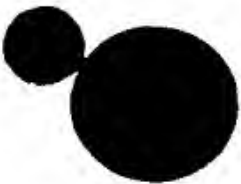

**dadurch gekennzeichnet,**

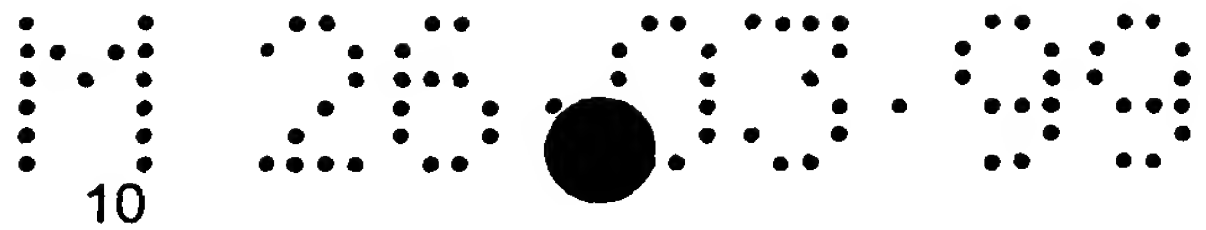
daß die Zu- und die Abführung bzw. die Zu- und Abführungen zumindest in einer Ebene um den Reaktionsbereich angeordnet sind, und

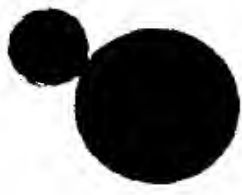

daß jede Zuführung zumindest in einer Ebene von mindestens einer Abführung umgeben ist, wobei die Zuführung mit der Abführung in thermischen Kontakt steht.

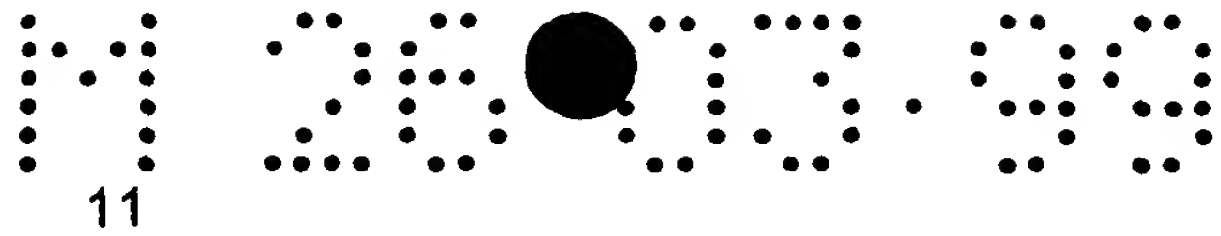
2. Mikroreaktor (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführung (2) und die Abführung (3) spiralartig gestaltet sind, wobei der Reaktionsbereich (4) im gemeinsamen Mittelpunkt angeordnet ist (Fig. 1a, 1b).
3. Mikroreaktor nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch genau eine Zuführung (2) und genau eine Abführung (3) (Fig. 1a, 1b).
4. Mikroreaktor nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch zwei Zuführungen (10, 11) und eine Abführung (12) (Fig. 2).
5. Mikroreaktor nach Anspruch 2, gekennzeichnet, durch drei oder mehr Zuführungen.
6. Mikroreaktor nach Anspruch 4 oder 5, gekennzeichnet durch einen Reaktionsbereich (13), in den die Zuführungen (10, 11) einmünden (Fig. 2).



7. Mikroreaktor nach Anspruch 4 oder 5, gekennzeichnet durch einen ersten Reaktions- oder Mischbereich, der mit mindestens zwei Zuführungen verbunden ist, und mindestens einen weiteren Reaktionsbereich, der mit dem ersten Reaktions- oder Mischbereich und mindestens einer dritten Zuführung verbunden ist.
8. Mikroreaktor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch mehrere Zuführungen und Abführungen, die um einen oder mehrere miteinander in Verbindung stehende oder voneinander getrennte Reaktionsbereiche angeordnet sind, wobei die Abführungen zwischen den Zuführungen angeordnet sind.
- 
9. Mikroreaktor (20) nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch einen oder mehrere miteinander in Verbindung stehende Reaktionsbereiche (21), die in dem Endbereich der Öffnungen der Zu- und/ oder Abführungen (22, 23) oder in dem von den Öffnungen der Zu- und Abführungen umgebenen Bereich angeordnet sind (Fig. 3a, 3b).
10. Mikroreaktor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführungen oder die Abführungen als Rohre mit gleichbleibendem oder konisch zusammenlaufendem Querschnitt ausgebildet sind, wobei die Abführungen bzw. die Zuführungen durch die Bereiche zwischen den Zuführungen bzw. den Abführungen gebildet sind.
- 
11. Mikroreaktor (20) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführungen (22) oder die Abführungen durch in Form von durch annähernd parallele oder konisch zusammenlaufende plattenartige Elemente (24) gebildete Spalte ausgebildet sind, wobei die Abführungen (23) bzw. die Zuführungen durch die Bereiche zwischen den Zuführungen (22) bzw. den Abführungen gebildet sind (Fig. 3a, 3b).



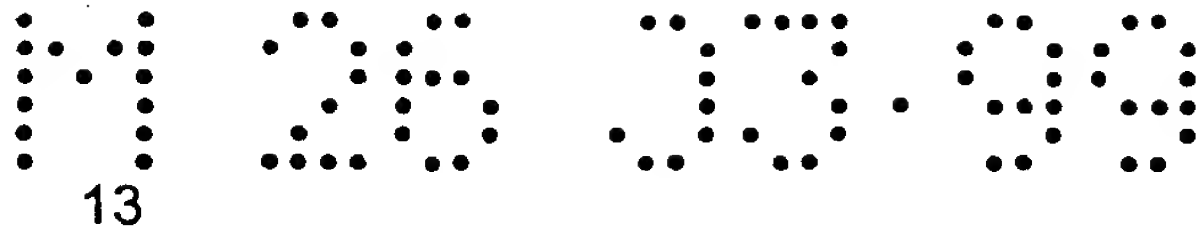
12. Mikroreaktor (40) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die voneinander getrennten Reaktionsbereiche jeweils durch eine Mikroreaktoreinheit (41) gebildet sind, wobei die Reaktoreinheit eine Zuführung (43), eine die Zuführung mindestens in einer Ebene umgebende Abführung (45) und einen an einem Ende der Reaktoreinheit befindlichen, die Zu- mit der Abführung verbindenden Reaktionsbereich (46) umfaßt (Fig. 4a, 4b).
13. Mikroreaktor nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Mikroreaktoreinheiten derart zueinander angeordnet sind, daß die an einem Ende befindlichen Reaktionsbereiche benachbart sind.
- 
 14. Mikroreaktor nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die den Reaktionsbereich (46) aufweisende Enden der Mikroreaktoreinheiten (41) nicht miteinander in Berührung stehen (Fig. 4a, 4b).
15. Mikroreaktor nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die den Reaktionsbereich aufweisende Enden der Mikroreaktoreinheiten miteinander, vorzugsweise über ein Material mit guten Wärmeleitungseigenschaften, in Berührung stehen.
- 
 16. Mikroreaktor nach Anspruch 14 oder 15, gekennzeichnet durch ein zumindest die den Reaktionsbereich aufweisenden Enden der Mikroreaktoreinheiten nach außen abschirmende Wärmestrahlungsreflektor.
17. Mikroreaktor (40) nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikroreaktoreinheit (41) ein an einem Ende verschlossenes Rohr (42) umfaßt, in dem ein die Zuführung (43) bildendes inneres Rohr (44) angeordnet ist, das vor dem verschlossenen Ende des äußeren Rohres endet, wobei der das innere Rohr umgebende und von der inneren Wandung des äußeren Rohres abgeschlossene Bereich die Abführung (45) bildet, und wobei der Bereich zwischen dem offenen Ende des inneren Rohres und dem verschlossenen Ende des äußeren Rohres den Reaktionsbereich (46) darstellt (Fig. 4a, 4b).



18. Mikroreaktor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das innere Rohr einen gleichartigen Querschnitt wie das äußere Rohr aufweist.
19. Mikroreaktor nach Anspruch 17 oder 18, gekennzeichnet durch einen runden oder ovalen Querschnitt des äußeren und/ oder inneren Rohres (42, 44) (Fig. 4a, 4b).
20. Mikroreaktor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das innere Rohr zumindest im Bereich seines offenen Endes das äußere Rohr (42) nicht berührt (Fig. 4a, 4b).
21. Mikroreaktor nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß das verschlossene Ende des äußeren Rohres (42) halbkugelförmig ausgebildet ist (Fig. 4a, 4b).
22. Mikroreaktor (50) nach Anspruch 17 oder 18, gekennzeichnet durch einen viereckigen, vorzugsweise rechteckigen, Querschnitt des äußeren Rohres (51) und/ oder des inneren Rohres (52) (Fig. 5a, 5b, 5c).
23. Mikroreaktor (50) nach Anspruch 22, gekennzeichnet durch einen Querschnitt zumindest des äußeren Rohres (51) bei die längeren Seiten mindestens doppelt so lang wie die kürzeren Seiten sind (Fig. 5a, 5b, 5c).
24. Mikroreaktor (50) nach Anspruch 23, gekennzeichnet durch einen Querschnitt des inneren Rohres (52), bei dem das innere Rohr an die beiden schmaleren Innenwände des äußeren Rohres (51) grenzt (Fig. 5a, 5b, 5c).
25. Mikroreaktor nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden schmaleren Wände des äußeren Rohres (51) gleichzeitig die beiden schmaleren Wände des inneren Rohres (52) bilden (Fig. 5a, 5b, 5c).

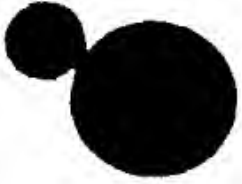

26. Mikroreaktor nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden breiteren Seitenwände sowie das verschlossene Ende des äußeren Rohres durch ein U-förmig gebogenes plattenförmiges Element (53) gebildet sind, wobei im Innern des äußeren Rohres die beiden breiteren Seitenwände des inneren Rohres durch zwei zueinander beabstandete plattenförmige Elemente (54, 55) gebildet sind, deren obere und untere Kanten bis an die beiden schmaleren Seitenwände des äußeren Rohres grenzen (Fig. 5a, 5b, 5c).
27. Mikroreaktor (40, 50) nach einem der Ansprüche 8 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß um die Zuführungen (43, 56) ein mit diesen verbundener Zuführungsverteiler (47, 57) angeordnet ist, der mit mindestens einer Hauptzuführung (48, 61) verbunden ist (Fig. 4a, 4b, 5a, 5b, 5c).
28. Mikroreaktor (40, 50) nach einem der Ansprüche 8 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß um die Abführungen (45, 58) ein mit diesen verbundener Abführungssammler (49a, 59) angeordnet ist, der mit mindestens einer Hauptabführung (49b, 62) verbunden ist (Fig. 4a, 4b, 5a, 5b, 5c).
29. Mikroreaktor nach einem der Ansprüche 8 bis 28, gekennzeichnet durch eine radiale Anordnung der Zu- und Abführungen um den bzw. die Reaktionsbereiche (Fig. 4a, 4b, 5a, 5b, 5c).
30. Mikroreaktor nach Anspruch 29, gekennzeichnet durch mehrere coaxial zueinander angeordnete Hohlzylinder (80a,b,c, 90a,b,c), wobei im innersten Hohlzylinder (80a, 90a) die einzelnen Zu- und Abführungen um den bzw. die Reaktionsbereiche angeordnet sind, und wobei ein Zuführungsverteiler durch den Bereich zwischen zwei Hohlzylinderwandungen gebildet ist (Fig. 4a, 4b, 5a, 5b, 5c).
31. Mikroreaktor nach Anspruch 30, gekennzeichnet durch einen Abführungssammler, der durch den Bereich zwischen zwei Hohlzylinderwandungen gebildet ist.





13

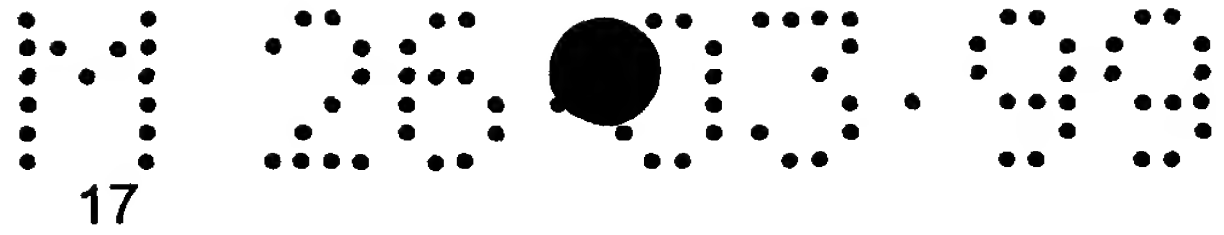
32. Mikroreaktor nach Anspruch 30, gekennzeichnet durch drei coaxial zueinander angeordnete Hohlzylinder (80a,b,c, 90a,b,c), wobei zwischen den inneren beiden Hohlzylindern (80a,b, 90a,b) der Abführungssammler (49a, 59) und zwischen den äußeren beiden Hohlzylindern (80b,c, 90b,c) der Zuführungsverteiler (47, 57) angeordnet ist (Fig. 4a, 4b, 5a, 5b, 5c).
33. Mikroreaktor nach einem der Ansprüche 30 bis 32, gekennzeichnet durch einen oder zwei mit dem Abführungssammler (49a, 59) verbundene Hauptabführungen (49b, 62), die an einer bzw. beiden Stirnflächen der Hohlzylinder (80a,b,c, 90a,b,c) angeordnet sind (Fig. 4a, 4b, 5a, 5b, 5c).
34. Mikroreaktor nach einem der Ansprüche 8 bis 28, gekennzeichnet durch eine Art kugelsymmetrische Anordnung der Zu- und Abführungen um den bzw. die Reaktionsbereiche, bei der die Zu- und Abführungen auf einen gemeinsamen Mittelpunkt ausgerichtet sind.
35. Mikroreaktor nach Anspruch 34, gekennzeichnet durch mehrere um einen gemeinsamen Mittelpunkt angeordnete Kugelschalen, wobei in der innersten Kugelschale die einzelnen Zu- und Abführungen um den bzw. die Reaktionsbereiche angeordnet sind, und wobei ein Zuführungsverteiler durch den Bereich zwischen zwei Kugelschalen gebildet ist.
36. Mikroreaktor nach Anspruch 35, gekennzeichnet durch einen Abführungssammler, der durch den Bereich zwischen zwei Kugelschalen gebildet ist.
37. Mikroreaktor nach Anspruch 36, gekennzeichnet durch drei um einen gemeinsamen Mittelpunkt angeordnete Kugelschalen, wobei zwischen den inneren beiden Kugelschalen der Abführungssammler und zwischen den äußeren beiden Kugelschalen der Zuführungsverteiler angeordnet ist.
38. Mikroreaktor nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zu- und Abführungen sowie der Reaktionsbereich durch Ausnehmungen in einem Substrat gebildet sind.

39. Mikroreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß Elemente des Mikroreaktors, wie Zuführungen, Abführungen, Reaktionsbereiche, Zuführungsverteiler, Abführungssammler, Hauptzuführung und/ oder Hauptabführung, durch entsprechend geformte plattenförmige Elemente gebildet sind.
40. Mikroreaktor nach einem der vorherigen Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Substrat oder plattenförmiges Element aus einem polymeren Material, einem Glas, einem keramischen oder einem metallischen Material.
- 41. Mikroreaktor nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Reaktionsbereiche (4, 21) mindestens ein katalytisch aktives Material (5, 25) aufweisen (Fig. 1a, 1b, 3a, 3b).
42. Mikroreaktor nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroreaktor vollständig oder zumindest die Fluidführungsstrukturen im Bereich des oder der Reaktionsbereiche aus mindestens einem katalytisch aktiven Material oder einer Vorform eines katalytisch aktiven Materials besteht bzw. bestehen.
43. Mikroreaktor nach Anspruch 41, gekennzeichnet durch mindestens ein im Reaktionsbereich lose eingebrachtes katalytisch aktives Material.
- 44. Mikroreaktor nach Anspruch 41, gekennzeichnet durch mindestens ein zumindest im Reaktionsbereich auf Wandungen aufgebracht katalytisch aktives Material.
45. Mikroreaktor nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß im Reaktionsbereich (21) spezielle Träger (26), beispielsweise dünne Bleche oder poröse oder strukturierte Körper großer spezifischer Oberfläche, mit aufgebracht katalytisch aktiven Material (25) angeordnet sind (Fig. 3a, 3b).



46. Mikroreaktor nach einem der vorherigen Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens ein im oder an den Reaktionsbereichen angeordnetes Heizelement.
47. Verwendung des Mikroreaktors nach einem der Ansprüche 1 bis 46 für heterogen katalysierte Gasphasenreaktionen.
48. Verfahren zur Durchführung chemischer Umsetzungen mindestens eines Eduktes, gegebenenfalls in verdünnter Form, mit mindestens einem Eduktstrom und einem Produktstrom sowie einem Reaktionsbereich,  
  
**dadurch gekennzeichnet,**  
  
daß der Eduktstrom bzw. die Eduktströme derart zu dem Reaktionsbereich im Gegenstrom zu dem Produktstrom bzw. den Produktströmen geführt werden und um den Reaktionsbereich angeordnet sind, daß der Eduktstrom bzw. die Eduktströme mindestens in einer Ebene von mindestens einem Produktstrom umströmt wird bzw. werden.
49. Verfahren nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der Edukt- und der Produktstrom spiralartig um den im gemeinsamen Mittelpunkt angeordneten Reaktionsbereich geführt werden.
50. Verfahren nach Anspruch 49, gekennzeichnet durch genau einen Eduktstrom und genau einen Produktstrom.
51. Verfahren nach Anspruch 49, gekennzeichnet durch zwei Eduktströme und einen Produktstrom.
52. Verfahren nach Anspruch 49, gekennzeichnet durch drei oder mehr Eduktströme.
53. Verfahren nach Anspruch 51 oder 52, gekennzeichnet durch einen Reaktionsbereich, in den die Eduktströme einmünden.

54. Verfahren nach Anspruch 51 oder 52, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Eduktströme in einen ersten Reaktions- oder Mischbereich geführt werden, und mindestens ein dritter Eduktstrom in mindestens einen weiteren Reaktionsbereich, der mit dem ersten Reaktions- bzw. Mischbereich verbunden ist, geführt wird.
55. Verfahren nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Eduktströme in einen oder mehrere miteinander in Verbindung stehende oder voneinander getrennte Reaktionsbereiche geführt werden, wobei die Produktströme von dem bzw. den Reaktionsbereichen benachbart und im Gegenstrom zu den Eduktströmen nach außen geführt werden.
56. Verfahren nach Anspruch 55, dadurch gekennzeichnet, daß die Edukt- und Produktströme jeweils in einzelnen Reaktoreinheiten geführt werden, wobei in der Reaktoreinheit der Eduktstrom mindestens in einer Ebene vom Produktstrom im Gegenstrom umströmt wird.
57. Verfahren nach Anspruch 55 oder 56, dadurch gekennzeichnet, daß die Eduktströme und die Produktströme als Fluidstrahlen oder als Fluidlamellen geführt werden.
58. Verfahren nach einem der Ansprüche 55 bis 57, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Eduktströme und/ oder die einzelnen Produktströme in radialer oder kugelsymmetrischer Art zu dem bzw. den Reaktionsbereichen geführt werden.
59. Verfahren nach einem der Ansprüche 48 bis 58, dadurch gekennzeichnet, daß das Produkt oder die Produkte an mindestens einem zumindest im Reaktionsbereich befindlichen katalytisch aktiven Material umgesetzt wird bzw. werden.
60. Verfahren nach einem der Ansprüche 48 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zu Beginn der Reaktionsdurchführung zumindest der Reaktionsbereich oder die Reaktionsbereiche beheizt wird bzw. werden.



## Bezugszeichenliste

- 1 Mikroreaktor
- 2 Zuführung
- 3 Abführung
- 4 Reaktionsbereich
- 5 Katalysator
- 6 abschließendes Element
- 7 abschließendes Element

- 10 Zuführung
- 11 Zuführung
- 12 Abführung
- 13 Reaktionsbereich

- 20 Mikroreaktor
- 21 Reaktionsbereich
- 22 Zuführung
- 23 Abführung
- 24 plattenartiges Element
- 25 Katalysator
- 26 Katalysatorträger
- 27a Zuführungsverteiler
- 27b Hauptzuführung
- 28 Hauptabführung
- 29a innerer Hohlzylinder
- 29b äußerer Hohlzylinder
- 29c Schlitz

- 40 Mikroreaktor
- 41 Mikroreaktoreinheit
- 42 äußeres Rohr
- 43 Zuführung
- 44 inneres Rohr
- 45 Abführung
- 46 Reaktionsbereich

- 46' leerer Bereich
- 47 Zuführungsverteiler
- 48 Hauptzuführung
- 49a Abführungssammler
- 49b Hauptabführung

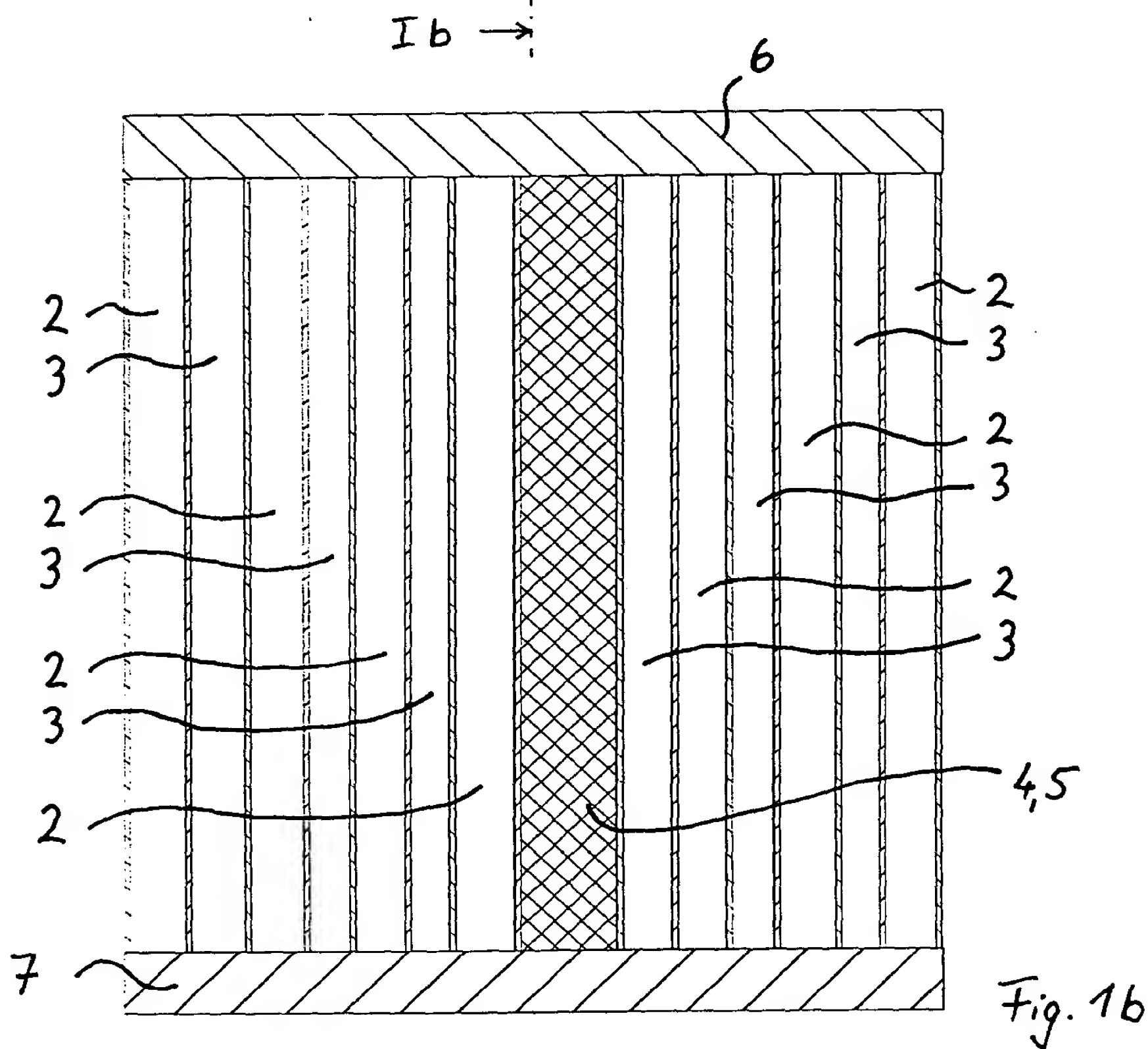
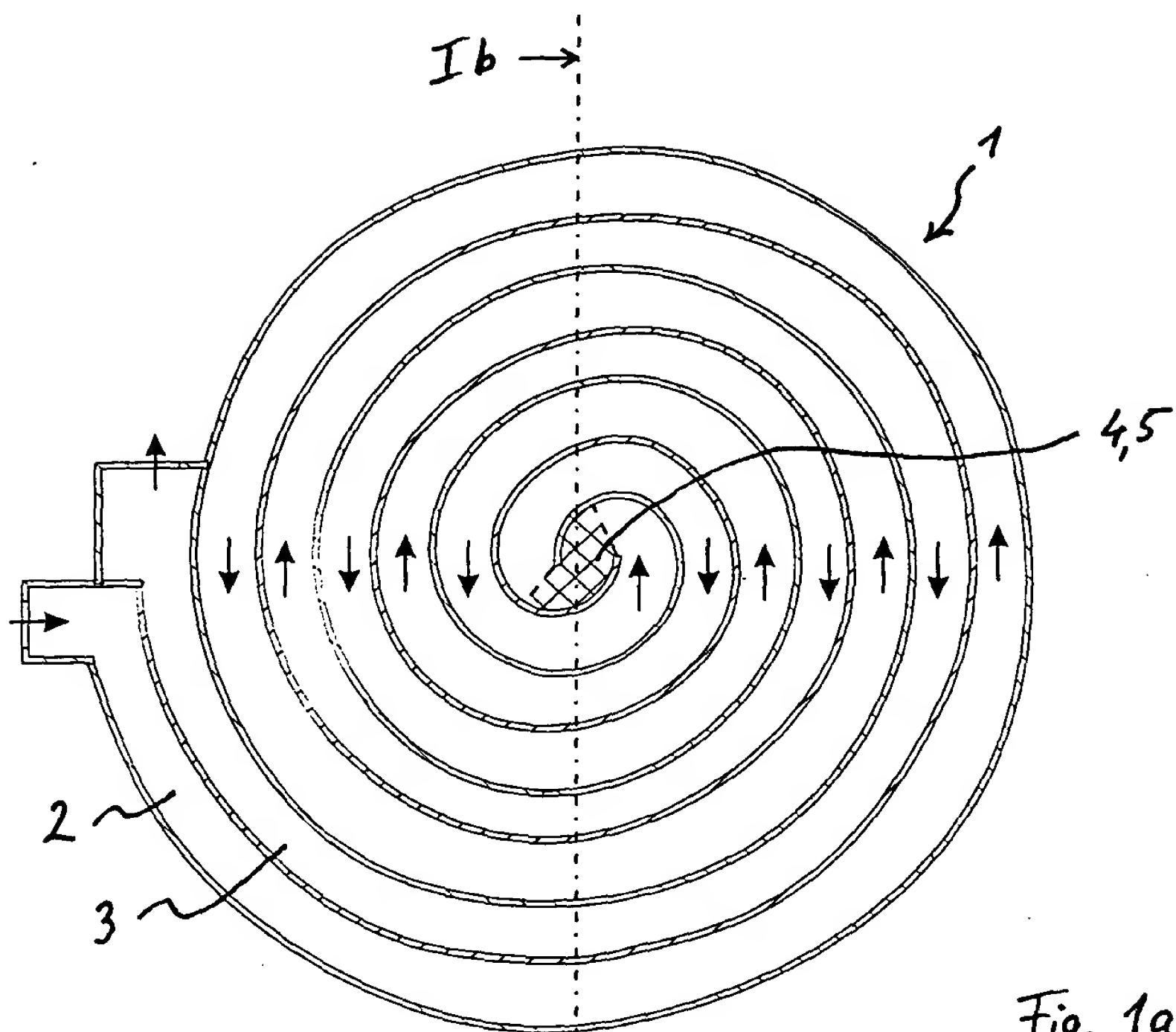
- 50 Mikroreaktor
- 50' Mikroreaktoreinheit
- 51 äußeres Rohr
- 52 inneres Rohr
- 53 U-förmig gebogenes plattenförmiges Element
- 54 plattenförmiges Element
- 55 plattenförmiges Element
- 56 Zuführung
- 57 Zuführungsverteiler
- 58 Abführung
- 59 Abführungssammler
- 60 Reaktionsbereich
- 61 Hauptzuführung
- 62 Hauptabführung
- 63 Bodenplatte
- 64 Öffnung

80a,b,c Hohlzylinder

90a,b,c Hohlzylinder



14 25 ● 03 00



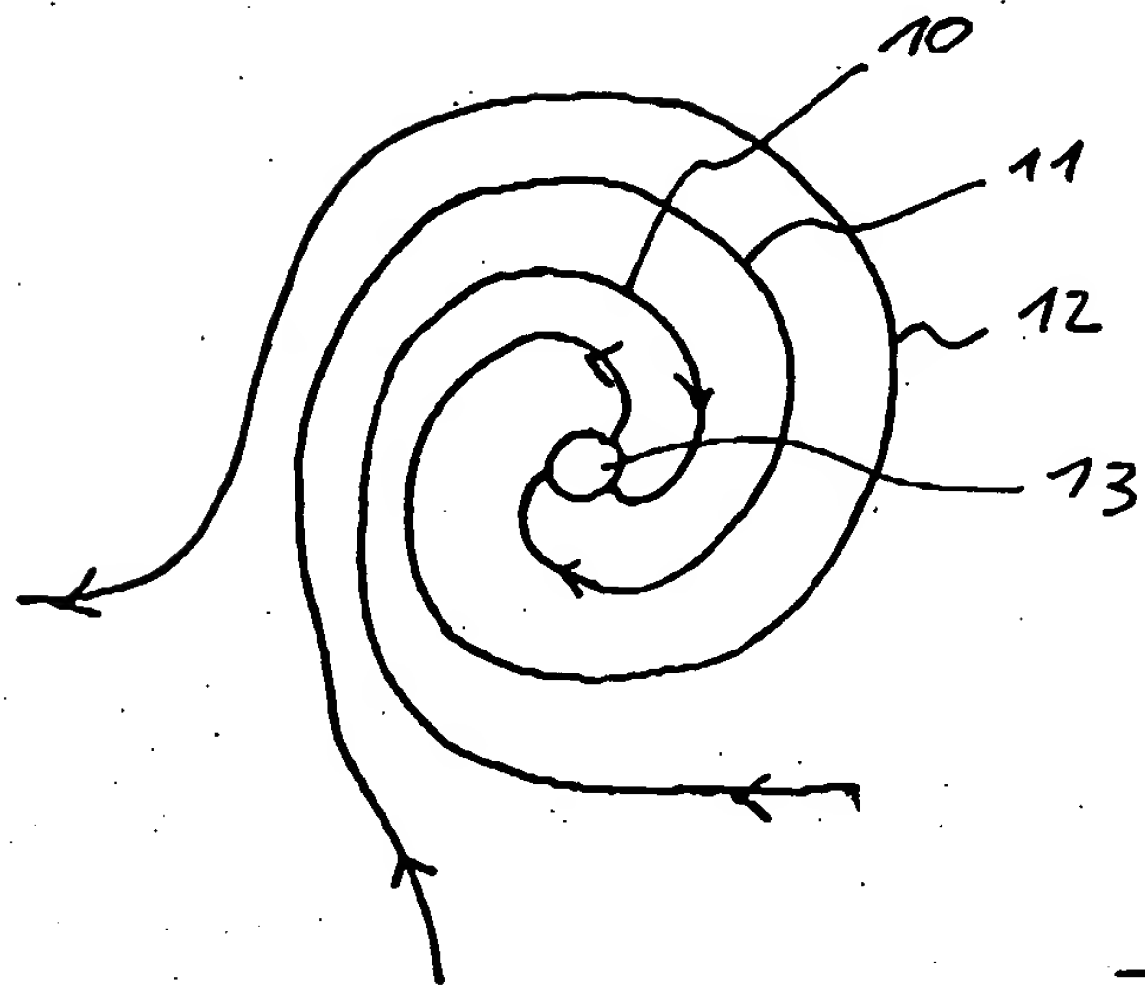
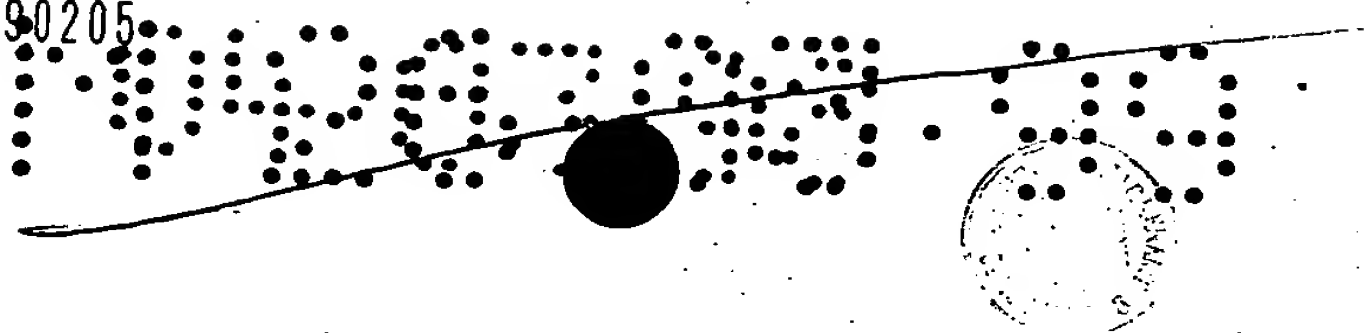
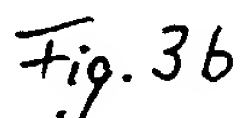
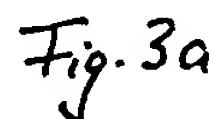


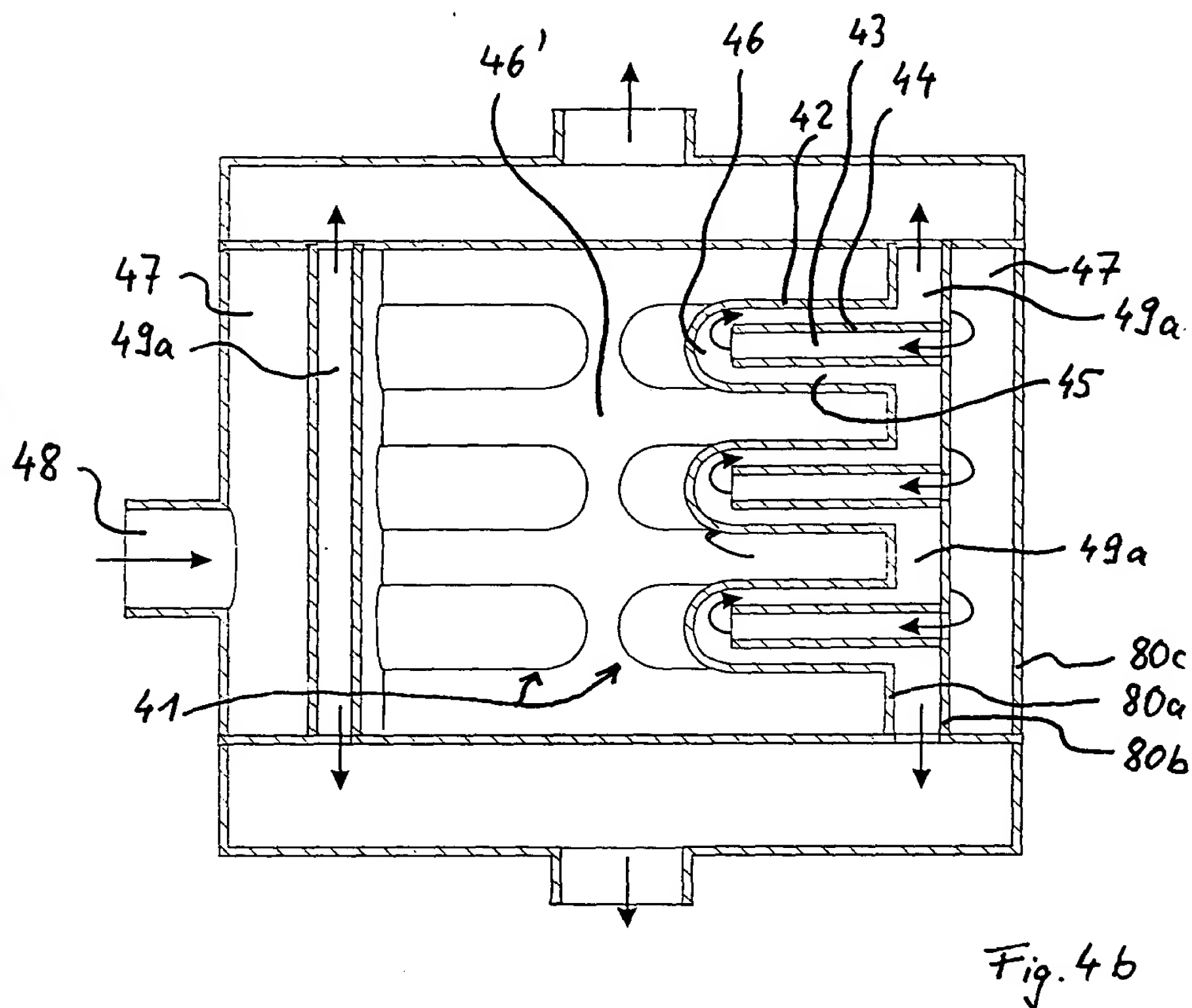
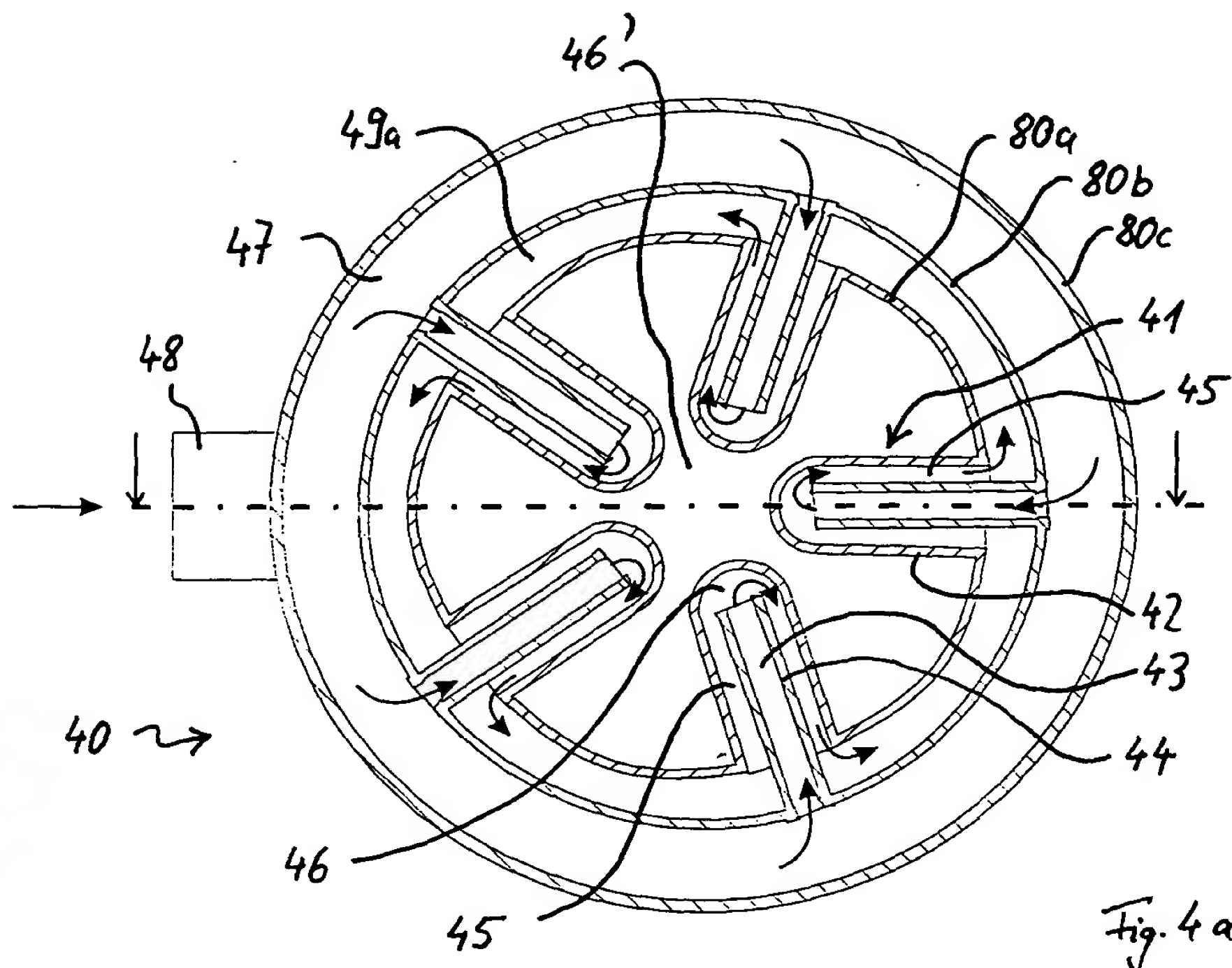
Fig. 2

Wird noch gezeichnet!

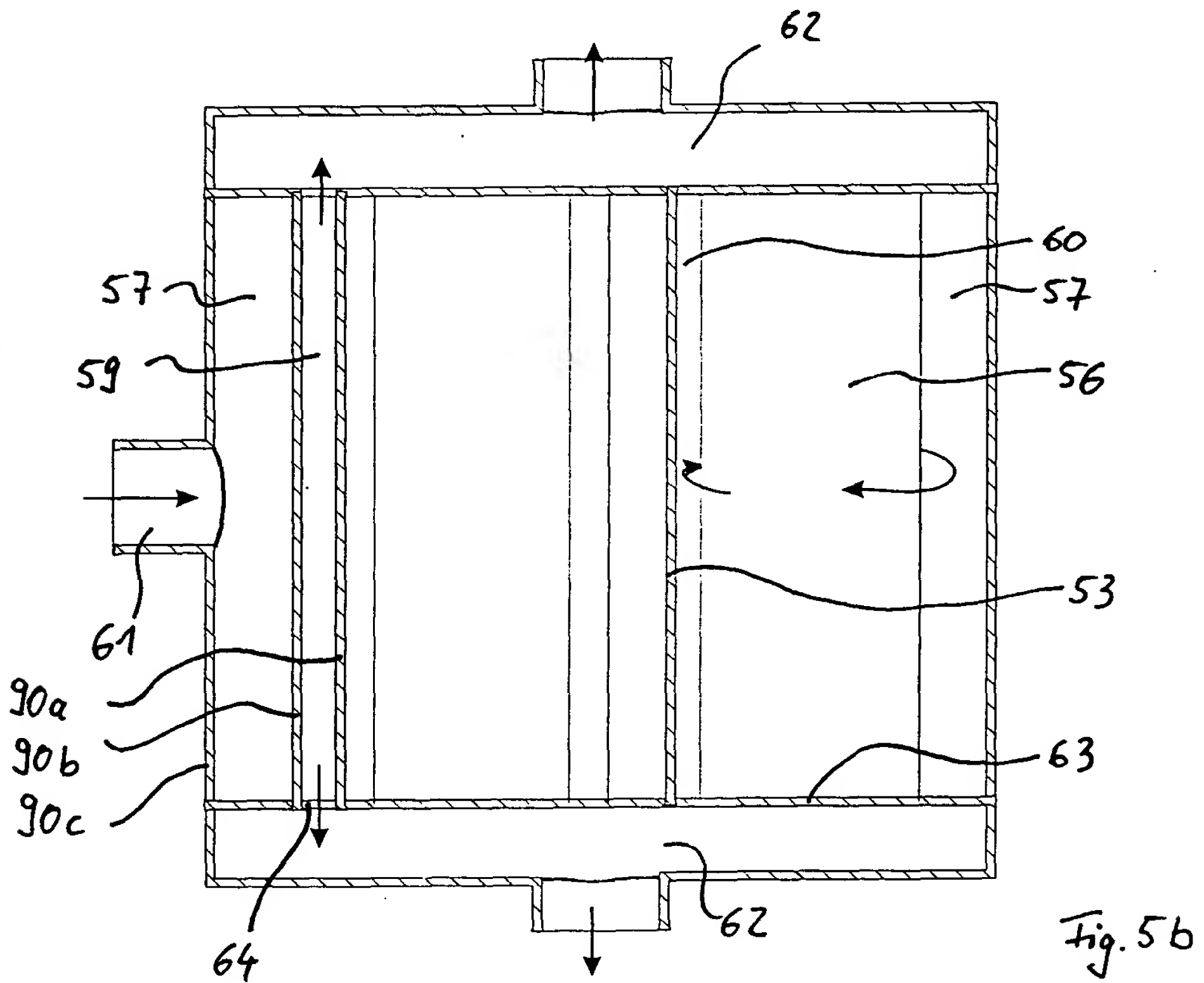
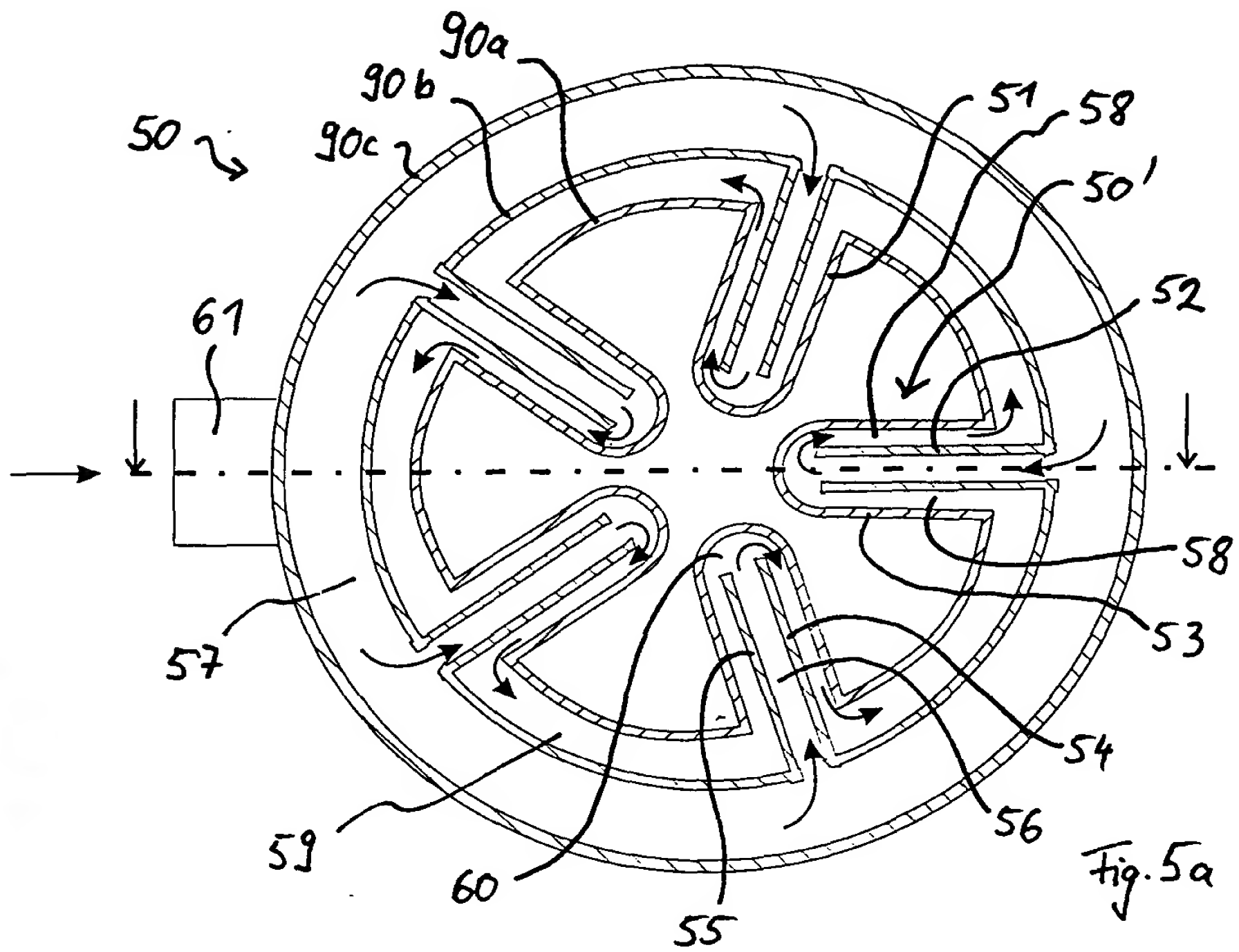
$$b \cdot \frac{u}{\omega} = 1$$
$$b \cdot \left( \frac{u}{\omega} + 4 \right) = 9$$



M 25.03.99



11 25 03 99



17-26-03-00

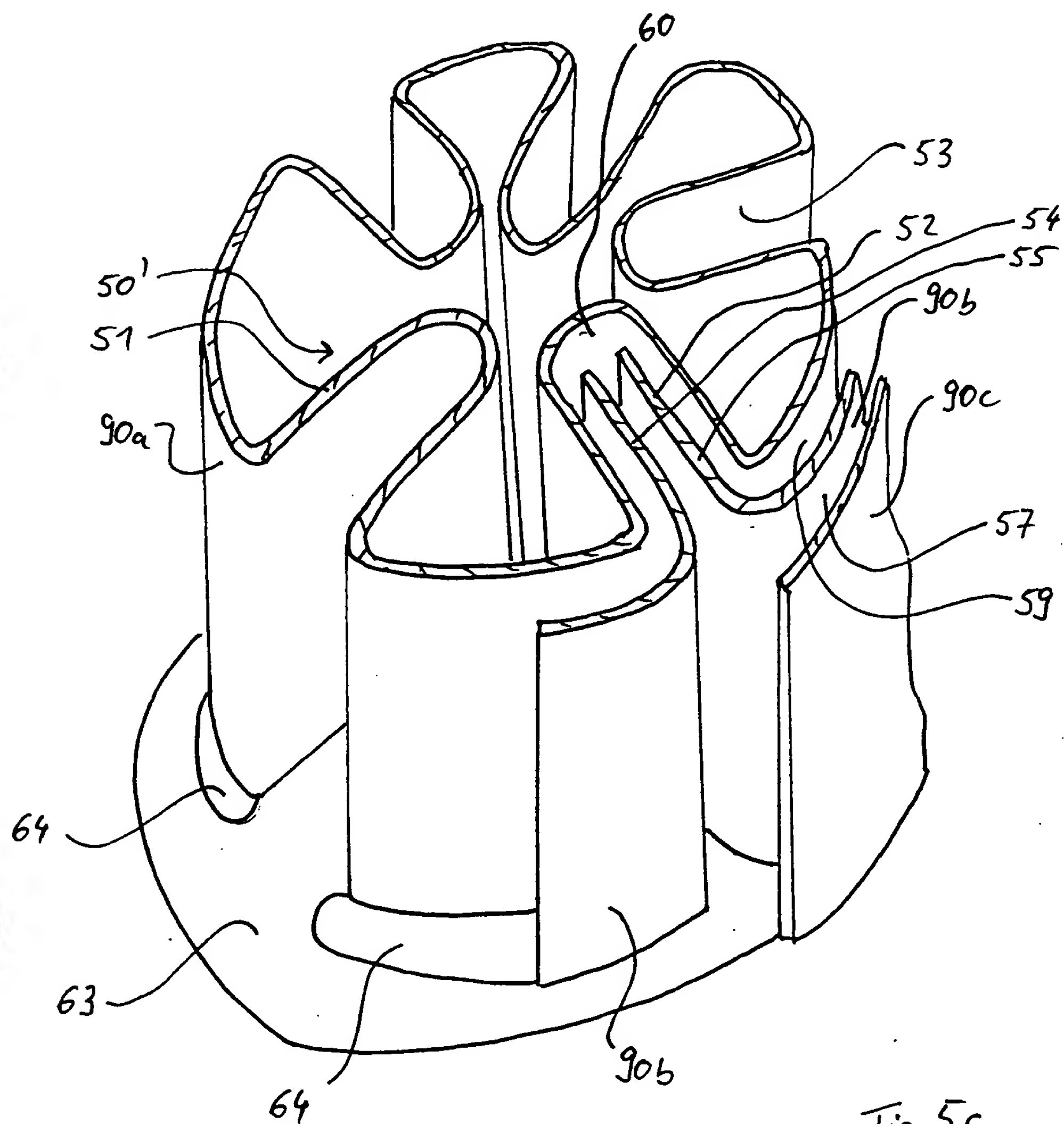


Fig. 5c